



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 19 891 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
G 06 F 17/50

⑳ Aktenzeichen: 199 19 891.8
㉔ Anmeldetag: 30. 4. 1999
㉕ Offenlegungstag: 9. 3. 2000

DE 199 19 891 A 1

③⑩ Unionspriorität:
072347 04. 05. 1998 US
⑦① Anmelder:
Ford Global Technologies, Inc., Dearborn, Mich.,
US
⑦④ Vertreter:
Neidl-Stippler und Kollegen, 81679 München

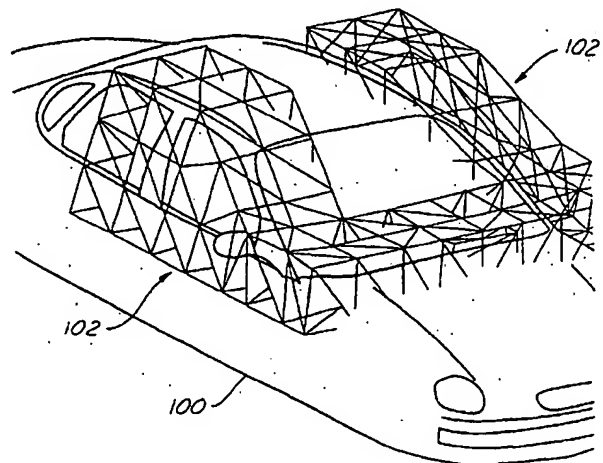
⑦② Erfinder:
Viswanathan, Babu, Farmington Hill, Mich., US;
Strumolo, Gary Steven, Beverly Hills, Mich., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und Einrichtung für einen virtuellen Windkanal

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Beurteilung sowohl aerodynamischer als auch aeroakustischer Fahrzeugdesigns in einer virtuellen Umgebung. Es wird von einem CAD-Modell des Fahrzeugs (100) ausgegangen, dann eine CFD-Simulation konstruiert und ausgeführt. Diese Information kann dazu verwendet werden, das Innengeräusch, das dem Windgeräusch entspricht, abzuschätzen, das dann für A- zu B-Vergleiche von Fahrzeugdesigns über Lautsprecher abgespielt werden kann. Das Verfahren erzeugt vorhergesagte Windgeräusche innerhalb eines Fahrgastraums eines CAD-Kraftfahrzeugmodells (100), das für das Fahrzeug repräsentativ ist, ohne Verwendung eines physischen Windkanals. Es wird ein CAD-Modell eines gewünschten Fahrzeugteils hergestellt und eine mit Rechner berechnete Masche (102) über das gewünschte Fahrzeugteil aus dem CAD-Modell (100) erzeugt. Dann wird eine transiente Strömung über das gewünschte Fahrzeugteil unter Verwendung der mittels Rechner berechneten Masche berechnet und ein Satz aerodynamischer Daten mindestens eines vorbestimmten Bereichs des gewünschten Teils des CAD-Modells aus der transienten Strömung extrahiert. Dann wird eine virtuelle Darstellung des Windgeräusches an einer vorbestimmten Stelle des CAD-Modells auf Basis des Satzes aerodynamischer Daten erzeugt und eine akustische Darstellung der virtuellen Darstellung des Windgeräusches hergestellt.



DE 199 19 891 A 1

Die Erfindung betrifft Verfahren nach Patentanspruch 1 und Patentanspruch 10 sowie eine virtuelle Windkanaleinrichtung nach Patentanspruch 15. Sie bezieht sich also auf das Kraftfahrzeugdesign im allgemeinen und insbesondere das computerunterstützte Fahrzeugdesign.

Zur Bestimmung der aerodynamischen Charakteristiken und der Konsequenzen für das Fahrzeugdesign stützen sich Kraftfahrzeugdesigner üblicherweise auf Windkanal-Tests. Es ist ein übliches Verfahren, einen Fahrzeugprototyp in einen Windkanal zu plazieren und verschiedene Tests durchzuführen, z. B. Messen des Strömungswiderstandes und der Auftriebskräfte über das gesamte Fahrzeug oder Untersuchen des Störungsfeldes unter Verwendung von Rauch-Einspritzsonden. Diese Tests erfordern beträchtliche Zeit, Aufwand und Kosten. Da üblicherweise mehrere Design-Iterationen erforderlich sind, bevor ein endgültiges Fahrzeugdesign erhalten wird, sind zusätzliche Windkanal-Tests erforderlich, so daß es zu einer Vervielfachung der Testkosten kommt. Fahrzeugdesigner haben deshalb auf den Tag gewartet, an dem computerisierte Verfahren nicht nur ergänzend zu den Windkanal-Tests verwendet werden können, sondern teilweise das physische Testen ersetzen, um Zeit und Kosten in der Fahrzeugentwicklung zu reduzieren.

Bisher haben die begrenzte Computergeschwindigkeit und Algorithmusgenauigkeit die Entwicklung eines virtuellen Windkanals – bei dem, bei einem vorgegebenen Fahrzeugdesign, einige oder alle der vorgenannten Tests mittels Computerausgeführt werden können – verhindert. Seit dem Aufkommen einer neuen und verbesserten mittels Rechner berechneten Strömungsdynamik (computational fluid dynamics, CFD)-Technologie, die z. B. die Prinzipien der Gittergastheorie (lattice gas theory) zur Vorhersage von Flüssigkeitsbewegung beinhaltet, ist ein virtueller Windkanal technisch möglich. Nichts desto weniger besteht weiterhin Bedarf für ein Verfahren und eine Einrichtung, die verfügbare computerisierte Technologie einsetzen, um einen, einem Benutzer zugänglichen, virtuellen Windkanal zur Verfügung stellen. Zusätzlich wird ein Verfahren und eine Einrichtung benötigt, die einen Vergleich zwischen Testergebnissen in einem physischen und einem virtuellen Windkanal und zwischen wechselnden Fahrzeugdesigns ermöglichen.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, die Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch Verfahren nach Anspruch 1 und Anspruch 10 sowie eine virtuelle Windkanaleinrichtung nach Anspruch 15 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen. Dadurch wird sowohl aerodynamische als auch aeroakustische Berechnung von Fahrzeugdesigns in einer virtuellen Umgebung ermöglicht.

Ausgehend von einer (computerunterstützten Design = computer aided design) CAD-Beschreibung des Fahrzeuges kann eine CFD Simulation konstruiert und ausgeführt werden. Diese Information kann für eine Abschätzung des – auf das Windgeräusch zurückzuführenden – Innengeräusches, das dann über Lautsprecher, für A zu B Vergleiche von verschiedenen Fahrzeugdesigns, abgespielt werden kann, verwendet werden. Das Verfahren erzeugt aus einem CAD-Modell, das repräsentativ für das Fahrzeug ist, ohne Verwendung eines physischen Windkanals Voraussagen über Windgeräusche innerhalb eines Fahrgastraumes eines Kraftfahrzeuges. Es wird ein CAD-Modell eines erwünschten Fahrzeugteils hergestellt und eine mit Rechner berechnete Masche des erwünschten Teils des Fahrzeugdesigns aus dem CAD Modell erzeugt. Dann wird unter Verwendung der mit Rechner berechneten Masche eine transiente Strömung über

das erwünschte Fahrzeugteil berechnet und ein Satz aerodynamischer Daten mindestens eines vorbestimmten Abschnitts des erwünschten Teils des CAD-Modells der transienten Strömung aus der transienten Strömung extrahiert. Dann wird eine virtuelle Darstellung des Windgeräusches bezüglich des CAD Modells an einem vorbestimmten Ort, das auf dem Satz aerodynamischer Daten beruht, erzeugt und eine akustische Darstellung der virtuellen Darstellung des Windgeräusches hergestellt.

Ein Vorteil der Erfindung besteht in einem Verfahren und einer Einrichtung, die einen für Benutzer zugänglichen virtuellen Windkanal schaffen.

Ein weiterer Vorteil liegt in einem Verfahren und einer Einrichtung, die eine aeroakustische Analyse des Fahrzeugdesigns erlauben, bevor Zeit und Ressourcen zur Herstellung eines Fahrzeugprototyps aufgewendet werden.

Weiterhin ist es ein Vorteil der Erfindung, ein Verfahren und eine Einrichtung zu schaffen, die einen Vergleich zwischen Testergebnissen eines physischen Windkanals und eines virtuellen Windkanals und zwischen verschiedenen Fahrzeugdesigns ermöglichen.

Diese und weitere Gegenstände, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung sowie den Zeichnungen. Darin zeigt:

Fig. 1 ein Flußdiagramm eines Verfahrens zur Erzeugung vorhergesagter Windgeräusche innerhalb eines Fahrgastraumes eines Kraftfahrzeuges, ohne Verwendung eines Windkanals aus einem CAD-Modell, das repräsentativ für das Fahrzeug ist, gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 2 eine perspektivische Ansicht eines CAD-Modells eines Fahrzeuges;

Fig. 3 eine perspektivische Ansicht ähnlich wie in Fig. 2, aber mit einer mit Rechner berechneten Masche um ausgewählte Teile des CAD-Modells;

Fig. 4 eine Aufsicht auf ein CAD-Modell eines Fahrzeuges mit einer mit Rechner berechneten Masche über das gesamte Modell;

Fig. 5 eine Ansicht eines verfeinerten Bereichs einer mit Rechner berechneten Masche;

Fig. 6 und 7 perspektivische Ansichten eines Haubenteils eines Fahrzeug-Modells mit Stromlinien, die erfindungsgemäß erzeugt werden können;

Fig. 8 ein Flußdiagramm eines erfindungsgemäßen Modifikationsverfahrens eines CAD-Modells zur Herstellung eines Modells für mit Rechner berechnete Strömungsdynamiken;

Fig. 9 und 10 Bildschirmansichten mit CAD-Modell Änderungs-Widgets, die als Teil des CAD-Modell Modifikations-Werkzeuges der vorliegenden Erfindung dienen;

Fig. 11 und 12 perspektivische Ansichten von Teilen eines CAD-Modells mit Strömungslinien über den interessierenden Abschnitt eines Fahrzeugdesigns;

Fig. 13 ein Flußdiagramm eines erfindungsgemäßen Strömungsdynamik-Parameter-Extraktionsverfahrens zur Extraktion vorbestimmter Daten aus einem mit Rechner berechneten Strömungsdynamik-Programm;

Fig. 14 eine Bildschirmansicht eines Windgeräusch-Modellierungsprogrammes, die einen berechneten Schalldruckpegel (sound pressure level, SPL) für ein Fahrzeugdesign zeigt;

Fig. 15 eine Bildschirmansicht eines Akustik-Programms und

Fig. 16 eine perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Einrichtung.

In den Zeichnungen, insbesondere in Fig. 1, zeigt ein Flußdiagramm eine bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Eine implizite Voraussetzung

bei der Durchführung realer Windkanal-Tests ist, daß die zu testenden Fahrzeuge bereits gebaut worden sind. In der Erfindung wird ein "virtuelles Fahrzeug" in Form eines CAD-Modells benötigt. In Kasten 10 der Fig. 1 wird eine CAD Wiedergabe einer Oberfläche eines Fahrzeugmodells 100 (Fig. 2) hergestellt. Der Fachmann weiß, daß sowohl die Information zur Entwicklung des Modells, die üblicherweise von einem Fahrzeugkörperdesign-Team erhalten wird, als auch die Informationen aus anderen Quellen, einschließlich der von Designteams für verschiedene Komponenten, wie z. B. Scheibenwischer, verwendet werden können. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das CAD-Modell, wie weiter unten näher beschrieben, dargestellt und überarbeitet, um ein vollständig geschlossenes massives Fahrzeugmodell zu erhalten, das für mit Rechner berechnete Strömungsdynamiken benötigt wird.

Nach Herstellung des Modells 100 wird es in ein Computerprogramm (Fig. 1, Kasten 12), das eine mit Rechner berechnete Masche 102 (Fig. 3) erzeugt, eingegeben. Es ist bekannt, daß eine mit Rechner berechnete Masche ein Werkzeug ist, das für verschiedene technische und wissenschaftliche Studien verwendet werden kann, wie z. B. mit Rechner berechnete Strömungsdynamiken und finite Elementanalysen. Es existieren verschiedene kommerziell verfügbare Programme zur Herstellung einer mit Rechner berechneten Masche, z. B. ANSYS FEATTM dreieckige Oberflächenmasche (triangular surface mesh), erzeugt durch HypermeshTM, und STLTM, erzeugt durch IDEASTM. Wie in Fig. 3 gezeigt, kann die mit Rechner berechnete Masche 102 entweder nur für einen Teil des Modells 100 erforderlich sein aber auch für das gesamte Modell (Fig. 4) erzeugt werden. In Fig. 4 ist ein CAD-Modell 104 eines Fahrzeugdesigns mit Maschen gezeigt. Nur um seine Einwirkung auf die Seitenfensterdrücke zu bestimmen, befindet sich ein Seitenspiegel 105 auf der Beifahrerseite 107. Ein Blattschirm 109 und ein Front-Scheibenwischer 111 ist auf der Fahrerseite enthalten. Das Modell kann über 60,000 dreieckige Elemente aufweisen. Die Herstellung des Fahrzeugmodells kann zum zeitintensivsten Teil der Erfindung werden. Sobald eine Masche 102 erzeugt ist, können zusätzlich Abschnitte von besonderem Interesse auf verschiedenen Wegen verfeinert werden. Z. B. können durch Halbieren der linearen Dimension der Gitterzellen in einer auf kartesischen Koordinaten beruhenden mit Rechner berechneten Masche, Verfeinerungen in einer Serie ineinander verschachtelter Abschnitte durchgeführt werden, wie in Fig. 5 gezeigt.

Als nächstes wird über die Oberfläche des Modells 100 eine transiente Strömung berechnet (Kasten 14, Fig. 1). Die transiente Strömungsberechnung kann durch verschiedene existierende Programme, wie z. B. ExaTM von Digital PhysicsTM durchgeführt werden. Um eine visuelle Betrachtung verschiedener Muster zu gestatten, kann die Strömung, wie in den Fig. 6 und 7 gezeigt, dargestellt werden. Vorzugsweise wird die Strömung über einen geeigneten Zeitraum gemittelt, um einen pseudo-stabilen Zustand zu erhalten. Als nächstes werden aerodynamische Daten bezüglich Strömungsmuster, Kräften, Geschwindigkeiten und Drücken erhalten (Kasten 16, Fig. 1). Diese Daten können Strömungsdetails über die Seitenscheiben des Modells 100 enthalten, z. B. A-Säulen Wirbellage und Wirbelstärke, Spiegel-Nachlauf-Detaills und Druckkoeffizientenverteilung. Die Daten können in einem vorbestimmten Format, z. B. auf einem Videoanzeigeterminal, dargestellt werden, um Betrachtung und Änderung zu ermöglichen. Diese aerodynamischen Informationen werden wiederum dazu verwendet, den inneren Schalldruckpegel am Fahrerohr, entsprechend dem Windgeräusch, vorherzusagen (Kasten 18, Fig. 1). Die Vorhersage des inneren spektralen Geräuschniveaus kann unter Ver-

wendung eines Windgeräuschmodellierungs-Programmes, wie es in US Patent 5,568,404 (Strumolo) – übertragen auf die Inhaberin der Erfindung – offenbart ist und auf die vollinhaltlich bezug genommen wird, erfolgen. Schließlich wird die spektrale Information zur Bildung einer Klangdatei für weißes Rauschen (white noise sound file) und zur Erzeugung einer Darstellung des Windgeräusches (Kasten 20, Fig. 1) verwendet, das durch Stereolautsprecher abgespielt werden kann. Die Zeit für das gesamte Verfahren, von der Erzeugung einer akzeptablen CAD-Oberfläche bis zum Hören des Windgeräusches, erfordert 2 bis 3 Tage, was viel kürzer ist als die bisher benötigte Zeit für konventionelle physische Windkanal-Tests.

Die Verarbeitung des CAD Modells wird vorzugsweise vor der mit Rechner berechneten Strömungsdynamik-Analyse durchgeführt, um eine vollständig geschlossene massive Darstellung eines Fahrzeuges zu erzeugen, möglicherweise aus einer Kollektion von Oberflächen. Eine solche Verarbeitung beinhaltet das Darstellen der Masche in verschiedenen Formaten, einschließlich Punkten, die nur die Spitzen darstellen, des Drahtmodells, das die Punkte in einem Drahtmodell unausgefüllter Dreiecke verbindet und Polygonen, die die ausgefüllten Dreiecke darstellen. Jegliche unpassenden Kanten können ebenfalls, durch Einstellen des Displays auf unpassende Kanten, dargestellt werden. Das Darstellen von unpassenden Kanten im CAD-Modell unterstützt die Lokalisierung und Fixierung dieser Kanten, um eine gültige Modellgeometrie zu erreichen. Die Kanten werden, sofern das Programm die Problemzonen rot färbt, direkt auf dem Schirm lokalisiert. Dies wird vom Benutzer leicht festgestellt und die überarbeitete CAD-Oberfläche weiter bearbeitet. Ohne das erfindungsgemäße "Lokalisierungsmerkmal" für unpassende Kanten muß der Benutzer das gesamte Netz, das aus über 60,000 Dreiecken bestehen kann, betrachten. Mit der vorliegenden Erfindung wird durch das automatische "Lokalisierungsmerkmal" für unpassende Kanten eine beachtliche Menge Zeit gespart.

Wie aus dem Flußdiagramm in Fig. 8 ersichtlich, wird in Kasten 30 das CAD-Modell erhalten. Das Modell wird dann, wie oben beschrieben, in Kasten 32 geprüft und, sofern es nicht akzeptabel ist (Raute 34), in Kasten 36 modifiziert. Die Modifikation kann das Anpassen unpassender Kanten, das Füllen von Löchern und andere Maschen-Änderungen beinhalten, um sicher zu stellen, daß das CAD Modell eine vollständige massive Topologie aufweist.

Nachdem in der Entscheidungsraute 34 ein akzeptables CAD-Modell erhalten worden ist, können, wie unten beschrieben, Abschnitte besonderen Interesses für eine Windkanaluntersuchung durch Bestimmen von Verfeinerungszonen (Kasten 38, Fig. 8) hervorgehoben werden. Diese Zonen sind eigentlich ineinander verschachtelte Maschenkästen, wobei der äußerste Kasten die größte Mascheneinteilung aufweist, 1/60 der Fahrzeughöhe, und der innerste Kasten eine feinere Aufteilung. Alle diese Kästen umgeben das Fahrzeug vollständig. Im aktuellen Durchlauf werden in Strömungsbereichen von besonderem Interesse weitere Verfeinerungszonen erzeugt, wie z. B. um die Spiegel, Scheibenwischer, Rücklichter und Kofferraumdeckel (deck lid area). Um die Strömungsstruktur um die Scheibenwischer aufzulösen, diktieren typischerweise allein geometrische Überlegungen einen Maschenabstand von etwa 1/480 Autohöhe. Für aeroakustische Kalkulationen sind ähnliche Maschenabstände um den Spiegel und auf der Seitenscheibe erforderlich. Solche Zonen sind durch ihre Skizzierung im CAD-Modell vom Benutzer erzeugt. Alternativ kann das Programm, wie unten beschrieben, zum variablen Verfeinern der Masche verwendet werden.

Das CAD-Modell kann durch Rotation der Koordinaten-

achsen dreidimensional manipuliert werden. Jede Rotation der Koordinatenachsen der finiten Elementdaten, die erforderlich ist, um sie in das körperbezogene Koordinatensystem zu bringen, kann durch Verwendung der X-Rotation-, Y-Rotation- und der Z-Rotation-Gleit-Widgets 40, 42, 44 (widget = classes of graphical user interface (GUI) elements or controls; Klassen von Elementen oder Kontrollen graphischer Benutzeroberflächen) erfolgen (Fig. 9). Die Daten können auch unter Verwendung der Wählscheiben-Widgets zur Darstellung von Ausschnittsdarstellungen des Ganzen beschnitten werden. In Fig. 10 erlaubt ein Schirm dem Benutzer, durch Einsatz der Wählscheiben-Widgets und Gleit-Widgets, einen rechteckigen Kasten mit Benutzer spezifizierten Dimensionen, Orientierung und Farbe zu erzeugen und abzubilden. Diese Widgets können auch für Meßzwecke eingesetzt werden. Das Programm berechnet, sofern erforderlich, automatisch einen korrekten X-Koordinaten-Ausgleich zwischen CAD und Fahrzeugkörper Referenz-System. Wenn die Geometrie zur Mittellinie symmetrisch ist, ist der Z-Koordinaten-Ausgleich ebenfalls korrekt berechnet. Wenn die Geometrie nicht symmetrisch ist, d. h. z. B. bei Gegenwart eines Spiegels auf nur einer Seite, kann der Benutzer in das erwünschte laterale Offset-Widget einwählen. Es ist keine Eingabe der Bodenfrieheit erforderlich, wenn die Geometrie einen glatten Unterkörper ohne Räder aufweist. Sofern Räder vorhanden sind, kann die Bodenfrieheit durch Formen des geeigneten rechteckigen Kastens, gemessen werden und dieser Wert durch ein Bodenfrieheits-Widget (nicht gezeigt) eingewählt werden. Die Verwendung des Verfahrens nach Fig. 8 hilft, die Iterationen zu eliminieren, die zur erfolgreichen Integration einer CAD-Fahrzeuggeometrie im erfindungsgemäßen virtuellen Windkanal erforderlich sind.

Verschiedene Verfeinerungszonen einer Masche können spezifiziert werden. Z. B. zeigt Fig. 3 einen Abschnitt "120", der ein "U"-förmiges Volumen 102 ist, das die vordere Seitenscheibe und Spiegel auf beiden Seiten des Autos ebenso enthält wie den Motorhauben-Abschnitt. Die Nummer "120" bezieht sich auf das Auflösungs-niveau, d. h. einen Gitterabstand von 1/120 Fahrzeughöhe. Es können andere verschachtelte Verfeinerungen (nicht gezeigt) konstruiert werden, z. B. ein Abschnitt, der das Scheibenwischerblatt umgibt, der ein Abschnitt "480" mit einer Maschenskala von 1/480 Fahrzeughöhe sein kann. Dieses Niveau kann erforderlich sein, um die Details der Scheibenwischereinrichtung zu erfassen.

Fig. 6 zeigt einen Scheibenwischer-Bereich, der ausführlich ein Wischerblatt 106 und einen Hohlraum 108 unter dem Windlauf (leaf screen cavity) darstellt. Die Scheibenwischerform zeigt, daß sie unter Spannung leicht komprimiert ist, das Blatt 106 mit der Windschutzscheibe 110 in Kontakt ist und ihrer Krümmung folgt. Das Blatt 106 ist ein dreieckiges Element, das normalerweise zur Windschutzscheibenoberfläche zeigt. Der Hohlraum 108 unter dem Windlauf enthält alle Details eines tatsächlichen Fahrzeuges, bis auf die Luftansauglöcher.

Mit dem erfindungsgemäßen virtuellen Windkanal können verschiedene Untersuchungen durchgeführt werden. Bei einigen Fahrzeugen baut sich unterhalb des Scheibenwischers auf der Fahrerseite Wischerflüssigkeit auf, die zu den Enden des Wischerblattes läuft und dann die Windschutzscheibe in zwei streifenförmigen Linien weiter nach oben läuft. Dies geschieht, weil die Scheibenwischer sich im Flußstrom befinden und sich um sie herum Rezirkulationsbereiche bilden. Um das Scheibenwischerdesign zu verbessern, ist es von Interesse, den erfindungsgemäßen virtuellen Windkanal zu verwenden, mit dem Ziel, dieses Phänomen zu beseitigen.

Fig. 6 und 7 zeigen, wie Luft um die Scheibenwischeranordnung, entlang vertikaler Scheiben durch beide Wischer, fließt. Es gibt drei Rezirkulationsbereiche. Die erste Rezirkulationszone 112 liegt im Hohlraum 108 unter dem Windlauf und bildet sich, wenn Luft über den Motorhaubenrand 114 strömt. Entsprechend sind die verbleibenden zwei Regionen 116, 118 oberhalb und unterhalb des Blattes 106 positioniert. Dort verlaufen Stromlinien 120 durch verschiedene Teile der Anordnung und bewegen sich durch und um die Arme und übrige Teile derselben (Fig. 7).

Fig. 11 zeigt einen Vorteil des erfindungsgemäßen virtuellen Windkanals gegenüber physikalischen Experimenten. Es wird mit der Platzierung eines kleinen rechteckigen stromlinienförmigen Abschnitts 122, stromaufwärts der Scheibenwischereinrichtung, begonnen. Das resultierende rohrförmige Stromlinienmuster 124 ähnelt dem, was man sehen würde, wenn an diesen Ort eine Rauchinjektornase in einem aktuellen Windkanal-Test platziert würde. Zwar werden mit Rauch die äußeren Formen des Flusses dargestellt, aber es ist praktisch unmöglich, eine detaillierte Information zu erhalten. Während der Rauch nahe des Injektorausganges kolinear ist, neigt er dazu, in der Strömung schnell zu diffundieren, insbesondere wenn er auf ein Hindernis trifft. Mittels des virtuellen Windkanals kann eine Scheibe an einer Stelle 126 durch den Scheibenwischer konstruiert werden, wo der "Rauchstrom" ihn kreuzt, um so Details über die Rezirkulationszonen aufzudecken. Diese Strömungssituation des Scheibenwischers kann durch Einstellen des Motorhaubenrandes im Motorhauben-Abschnitt verbessert werden, so daß der Luftstrom über die Wischer hinweg fließt und es dem Wasser erlaubt, von den Blättern abzufallen, statt die Windschutzscheibe hinaufzulaufen. Wechselnde Motorhauben/Scheibenwischer Designs können bei Verwendung des virtuellen Windkanals berücksichtigt und beurteilt werden.

Ein weiteres vorteilhaftes Merkmal der vorliegenden Erfindung ist, daß an erwünschten Orten der Fahrzeugoberfläche die Druckverteilungen modelliert werden können. Um die Druckverteilung der Strömungsstruktur auf dem Seitenfenster darzustellen, wird eine stromlinienförmige Scheibe vor dem Seitenspiegel 130 (Fig. 12) platziert. Sie zeigt sowohl die Bildung eines Wirbels an der A-Säule 132 als auch eine Abreiß-Blase 134 hinter dem Spiegel. Eine vertikale Scheibe durch das Fahrzeug, gerade vor der B-Säule 136, zeigt ferner das Wirbelaufrollen.

Ein Windgeräusch-Modellierungsprogramm, wie oben genannt, z. B. in US Patent Nr. 5,568,404, sagt entsprechend dem Windgeräusch den Schalldruckpegel am Fahrerohr voraus. Dies erfolgt unter Verwendung der CFD Daten des stabilen Zustandes auf den Fensteroberflächen. Solch ein Programm erfordert eine Spezifikation der Bereiche der drei vorherrschenden Strömungssysteme auf der Glasoberfläche: unter dem A-Säulenwirbel, unter dem Nachstrom des Seitenspiegels und den verbleibenden wieder anliegenden Strömungsbereich zusammen mit dem mittleren Druckverteilungskoeffizienten in diesem Bereich. Früher wurden diese Werte durch visuelles Betrachten eines Farbbildes der Druckverteilung und durch Beurteilung, oft mit dem Auge, der Bereiche und Drücke erhalten. Eine visuelle Betrachtung kann für bestimmte Windkanal-Tests eine zu grobe Bestimmung sein, weil sie von Person zu Person variieren kann.

Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren für eine genauere Betrachtung der Bereiche und Druckkoeffizienten, die für die Eingabe in einen Windgeräusch-Modellierer benötigt werden, zur Verfügung. Wie aus dem Flußdiagramm in Fig. 13 ersichtlich, wird in Kasten 50 ein Farbbild der Druckdaten für einen gewünschten Ort auf dem Fahrzeug-

modell erhalten. Solch ein Bild ist typischerweise aus einem CFD Programm erhältlich, z. B. im Anschluß an Kasten 14 in Fig. 1. Nachdem ein Bild erhalten worden ist, wird eine Farbskala geeicht (Kasten 52, Fig. 13), z. B. in Form einer Legende mit Farbbalken (color bar legend), die die Daten quantifiziert. Dieser Schritt kann die Zuordnung spezifischer Drücke zu vorbestimmten Farben auf der Farbbalken-Legende beinhalten. Als nächstes skizziert der Benutzer auf dem Schirm irgendeine Zahl polygonaler Flächen (Kasten 54), z. B. unter dem Wirbel an der A-Säule, unter dem Seitenspiegel-Nachstrom und dem verbleibenden wieder anliegenden Strömungsbereich. Dann gibt das Programm die vollständige Anzahl Pixel in jedem Polygon aus. Durch Vergleich der RGB (rot, grün, blau) Werte für jedes Pixel auf der Farbbalken wird der numerische Wert für jedes Pixel bestimmt und der Mittelwert über jeden spezifizierten polygonalen Abschnitt berechnet (Kasten 56, Fig. 13). Zusätzlich wird ebenfalls der Teilabschnitt jeder polygonalen Zone berechnet. Mit dem Werkzeug der Fig. 13 können die benötigten Parameter-Eingaben in den Windgeräusch-Modellierer genau und objektiv bestimmt werden. Zusätzlich kann das Werkzeug dazu verwendet werden, sofort Informationen über den numerischen Wert an der Zeiger-Spitze zu erhalten. D. h., durch Anklicken mit der Maus irgendwo auf dem Farbbild wird der numerische Wert der Größe sofort auf dem Bildschirm abgebildet. Dieses Werkzeug kann für jede Anwendung, bei der quantitative Informationen über ein Farbbild, entweder an ausgewählten Punkten oder über vorbestimmte Bereiche, gewünscht wird, verwendet werden.

Nachdem die erforderlichen Parameter bestimmt worden sind, übernimmt der Windgeräusch-Modellierer die berechneten Werte von der Anwendung und berechnet einen Schalldruckpegel (SPL) 200 am Fahrerohr (Fig. 14). Dieses SPL 200 ist mit einer virtuellen akustischen Anwendung, bei der es sich vorzugsweise um ein separates Blatt 202 in einem Tabellenkalkulationsprogramm handelt (Fig. 15), dynamisch verbunden. Das Blatt 202 (Fig. 15) weist eine Zeichnung des SPL 200 und eine Auflistung von drei Schalldruck-Spektren auf: experimentelle Daten 204, eine gewünschte Designkurve 206 und eine Designkurve 208. Das Programm nimmt ein Signal des weißen Rauschens und formt es – z. B. auf dieselbe Weise, wie ein Grafik-Equalizer weißes Rauschen "formt" – zu einem aus den drei Spektren ausgewählten. Auf diese Weise kann ein "zischendes Geräusch", das die aktuellen Windgeräusche im Fahrzeug darstellt, z. B. über einen Satz Lautsprecher an einem PC oder über Kopfhörer 210 (Fig. 16) akustisch abgespielt werden. Ein Benutzer 211 (Fig. 16) kann durch Klicken der Knöpfe 212 über den individuellen Spektren zwischen den Geräuschen umschalten, um einen sofortigen Vergleich zwischen unterschiedlichen Fahrzeugdesigns zu ermöglichen, um festzustellen, ob die spektralen Unterschiede zwischen zwei Designs tatsächlich gehört werden können. Dies ist sehr wichtig, weil das menschliche Ohr bestimmte Geräuschunterschiede bei bestimmten Frequenzen nicht hören kann. Durch diese Möglichkeit wird der Fahrzeugdesigner mit einem Mittel versorgt, um zu beurteilen, ob ein Design-Wechsel erforderlich ist – bevor es tatsächlich gebaut wird.

Eine typische Einrichtung für ein für Insassen konzipiertes erfindungsgemäßes Fahrzeugdesign ist in Fig. 16 dargestellt. Die Einrichtung beinhaltet eine Verarbeitungseinheit 150, die mit einem Benutzerinterface verbunden ist, das ein Bildschirmterminal 152, eine Tastatur 154, eine Zeigevorrichtung, wie eine Maus 156 oder ähnliches beinhalten kann. Die Verarbeitungseinheit 150 beinhaltet vorzugsweise eine zentrale Verarbeitungseinheit, einen Speicher und gespeicherte Anweisungen, die ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Fahrzeugdesign ausführen. Die gespeicherten

Instruktionen können im Speicher der Verarbeitungseinheit 150 oder in jedem nicht vorübergehenden Speicher, wie z. B. einem magnetischem oder optischen Medium, EPROM, EEPROM oder ähnliches gespeichert sein. Alternativ können die Anweisungen von einem entfernbaren magnetischen Medium, wie z. B. einer Wechselplatte, z. T. Floppy Disk genannt, einem optischen Medium oder dergleichen geladen werden. In einer bevorzugten Ausführungsform beinhaltet die Einrichtung ein Mehrzweck-Computerprogramm zur Durchführung der oben erläuterten und beschriebenen Funktionen. Selbstverständlich kann eine erfindungsgemäße Einrichtung auch durch eine angepaßte Vorrichtung, die verschiedene Kombinationen Hardware und Software beinhaltet, ausgeführt werden. Die bevorzugte Ausführungsform kann weiterhin einen Drucker (nicht gezeigt), der mit der Verarbeitungseinheit 150 verbunden ist, ebenso wie eine Netzwerkverbindung für den Zugang zu einem lokalen Server, einem Intranet und dem Internet, beinhalten.

Die Erfindung stellt einen virtuellen, aerodynamischen/aeroakustischen Windkanal zur Verfügung. Die CAD-Darstellung eines Fahrzeugs wird zur schnellen und effizienten Wiedergabe einer aerodynamischen Betrachtung mit minimalem Benutzereingriff auf einer Tisch-Arbeitsstation verwendet. Diese Information kann dann zur Vorhersage von Innengeräuschniveaus, die über Lautsprecher zur Analyse von wechselnden Fahrzeugdesigns abgespielt werden, in ein Windgeräusch-Modellierungsprogramm eingegeben werden.

Obwohl die Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsformen beschrieben wurde, sind verschiedenen Änderungen und Modifikationen davon möglich, ohne sich von dem Schutzzumfang der Erfindung, wie er sich aus den Ansprüchen ergibt, zu entfernen.

Bezugszeichenliste

- 10 Kasten
- 12 Kasten
- 14 Kasten
- 16 Kasten
- 18 Kasten
- 20 Kasten
- 30 Kasten
- 32 Kasten
- 34 Raute
- 36 Kasten
- 38 Kasten
- 50 Kasten
- 52 Kasten
- 54 Kasten
- 56 Kasten
- 40 Gleit-Widget
- 42 Gleit-Widget
- 44 Gleit-Widget
- 100 CAD-Fahrzeugmodell
- 102 "U" förmiges Volumen
- 102 mittels Rechner berechnete Masche
- 104 CAD-Modell mit Maschen
- 105 Seitenspiegel
- 106 Blatt
- 107 Beifahrerseite
- 108 Hohlraum unter dem Windlauf
- 109 Blattschirm
- 110 Windschutzscheibe
- 111 Front-Scheibenwischer
- 112 erste Rezirkulationszone
- 114 Motorhaubenrand

116 Rezirkulationszone
 118 Rezirkulationszone
 120 Stromlinien
 122 Neigung
 124 Stromlinienmuster
 126 Stelle, wo der "Rauchstrom" die Scheibe kreuzt
 130 Seitenspiegel
 132 A-Säule
 134 Abreiß-Blase
 136 B-Säule
 150 Verarbeitungseinheit
 152 Bildschirm
 154 Tastatur
 156 Zeigevorrichtung (Maus)
 200 Schalldruckpegel (SPL)
 202 separates Blatt
 204 experimentelle Daten
 206 gewünschte Designkurve
 208 Designkurve
 210 Kopfhörer
 211 Benutzer
 212 Knöpfe

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Vorhersagen für Windgeräusche ohne Verwendung eines Windkanals innerhalb eines Kraftfahrzeug-Fahrgastraums eines computerunterstützten (CAD)-Modells des Fahrzeugs mit den Schritten:
 – Herstellen eines CAD-Modells eines erwünschten Fahrzeugteils;
 – Erzeugung einer mittels Rechner berechneten Masche des erwünschten Teils des CAD-Modells des Fahrzeugdesigns;
 – Berechnen einer transienten Strömung über das erwünschte Teil unter Verwendung der mittels Rechner berechneten Masche;
 – Extrahieren eines Satzes aerodynamischer Daten mindestens eines vorbestimmten Abschnitts des erwünschten CAD-Modells aus der transienten Strömung;
 – Erzeugung einer virtuellen Darstellung des Windgeräusches an einem vorbestimmten Ort des CAD-Modells, basierend auf dem Satz aerodynamischen Daten; und
 – Herstellung einer akustischen Darstellung der virtuellen Darstellung des Windgeräusches.
 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Satz aerodynamischer Daten mindestens
 – einen Datensatz für Orte des Auftretens von Wirbeln und der Wirbelstärke,
 – einen Satz Daten für Nachlauf-Details von Hindernissen auf der Außenoberfläche, und
 – einen Satz der Druckkoeffizientenverteilungsdaten
 umfaßt.
 3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, ferner gekennzeichnet durch Darstellen des Satzes aerodynamischen Daten auf einem Videoanzeige-Terminal in einem vorbestimmten Format, um seine Betrachtung und Änderung zu ermöglichen.
 4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugung einer virtuellen Darstellung des Windgeräusches durch
 – Erzeugung eines Satzes vorhergesagter innerer Schalldruckpegel mittels eines Windgeräusch-Modellierungsprogrammes und

– Formen einer Klangdatei für das weiße Rauschen mit den vorhergesagten Schalldruckpegeln, um das vorhergesagte Windgeräusch darzustellen, ausgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Herstellung einer akustischen Darstellung der virtuellen Darstellung des Windgeräusches die virtuelle Darstellung des Windgeräusches über mindestens einen Lautsprecher abgespielt wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Herstellung des CAD-Modells, um eine vollständig geschlossene mas- sive Darstellung davon zu erhalten, eine Modifizierung eines Ausgangs-CAD-Modells umfaßt.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es weiterhin eine Bestimmung mindestens eines Satzes aerodynamischer Daten durch örtliche elektronische Farbbeurteilung beinhaltet.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die regionale elektronische Farbbeurteilung ausgeführt wird durch:

- Erhalt eines Farbbildes, das die Variation des mindestens eines Satzes aerodynamischer Daten für einen vorbestimmten Teil des CAD-Modells darstellt;
- Eichen einer Farbskala, die den Werten mindestens eines Satzes aerodynamischer Daten entspricht;
- Skizzieren polygonaler Zonen um ausgewählte Bereiche des vorbestimmten Teils des CAD-Modells und
- Elektronisches Berechnen eines Mittelwertes für den ausgewählten Abschnitt, basierend auf der Farbskala und den polygonalen Zonen.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Satz aerodynamischer Daten Druckkoeffizienten beinhaltet.

10. Verfahren zur Vorhersage des Windgeräusches im Kraftfahrzeug-Fahrgastraum eines CAD-Modells eines Kraftfahrzeuges in einem virtuellen Windkanal, mit den Schritten:

- Speichern eines ersten Datensatzes, der ein CAD-Modell des erwünschten Fahrzeugteils darstellt, im Computerspeicher;
- Speichern eines zweiten Datensatzes, der eine mittels Rechner berechnete Masche des erwünschten Fahrzeugteils, basierend auf dem ersten Datensatz, darstellt, im Speicher;
- Berechnen eines dritten Datensatzes, der eine transiente Strömung über das erwünschte Teil darstellt, unter Verwendung des zweiten Datensatzes;
- Extrahieren eines vierten Datensatzes, der aerodynamische Daten mindestens eines vorbestimmten Abschnittes des erwünschten Teils des CAD-Modells darstellt, aus dem dritten Datensatz;
- Erzeugen eines fünften Datensatzes einer virtuellen Darstellung des Windgeräusches an einer vorbestimmten Stelle des CAD-Modells, basierend auf dem vierten Datensatz; und
- Herstellung einer akustischen Darstellung des fünften Datensatzes.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der aerodynamische Datensatz mindestens

- einen Satz Daten für Wirbelverteilung und -stärke,

- einen Satz von Außenoberflächen-Nachlauf-Detailldaten und
 - einen Satz Daten der Druckkoeffizientenverteilung
- umfaßt. 5
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, ferner gekennzeichnet durch Darstellen des vierten Datensatzes auf einem Videoanzeigeterminal in einem vorherbestimmten Format, um seine Betrachtung und Änderung zu ermöglichen. 10
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugung des fünften Datensatzes durch:
- Erzeugung eines Satzes vorbestimmter innerer Schalldruckpegel mittels eines Windgeräusch-Modellierungsprogrammes und
 - Formen einer Klangdatei für weißes Rauschen mit den vorbestimmten Schalldruckpegeln zur Darstellung des vorhergesagten Windgeräusches, ausgeführt wird. 20
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, gekennzeichnet durch Herstellung einer akustischen Darstellung des fünften Datensatzes durch Abspielen der virtuellen Darstellung des Windgeräusches durch mindestens einen Lautsprecher. 25
15. Virtuelle Windkanaleinrichtung zur Erzeugung vorhergesagter Windgeräusche innerhalb eines Kraftfahrzeug-Fahrgastraumes aus einem CAD-Modell (100) des Fahrzeugs mit:
- CAD-Codemitteln zur Herstellung eines CAD-Modells (100) eines erwünschten Fahrzeugteils;
 - Maschenerzeugungs-Codemitteln zur Erzeugung einer mittels Rechner berechneten Masche (102) des erwünschten Fahrzeugteildesigns aus dem CAD-Modells (100); 30
 - mittels Rechner berechneten Strömungsdynamik-Codemitteln zur Berechnung einer transienten Strömung über das erwünschte Teil unter Verwendung der mittels Rechner berechneten Masche (102); 35
 - Extraktions-Codemitteln zur Extraktion eines Satzes aerodynamischer Daten aus mindestens einem vorbestimmten Abschnitt des erwünschten Teils des CAD-Modells (100) aus der transienten Strömung; 40
 - Windgeräusch-Codemitteln zur Erzeugung einer virtuellen Darstellung von Windgeräuschen an einer vorbestimmten Stelle des CAD-Modells (100) auf Grundlage des aerodynamischen Datensatzes und 45
 - Geräuscherzeugungsmitteln zur Herstellung einer akustischen Darstellung der virtuellen Darstellung des Windgeräusches. 50
16. Einrichtung nach Anspruch 15, gekennzeichnet durch: 55
- Codemittel zur Erzeugung verfeinerter Zonen zum interaktiven Setzen einer mittels Rechner berechneten Masche (102) für das CAD-Modell (100) durch den Benutzer.
17. Einrichtung nach Anspruch 15 oder 16, gekennzeichnet durch: 60
- regionale elektronische Farbbeurteilungs-Codemittel zur Abschätzung eines Wertes mindestens eines Satzes aerodynamischen Daten.
18. Einrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß das regionale elektronische Farbbeurteilungs-Codemittel: 65
- Farbbilddarstellungs-Codemittel zur Darstel-

lung einer Variation des mindestens einen Satzes aerodynamischer Daten für einen vorbestimmten Teil des CAD-Modells (100);

- Eich-Codemittel zum Eichen einer Farbskala, damit diese den Werten mindestens eines Satzes aerodynamischer Daten entspricht;

- Zonen-Skizzierungs-Codemittel zur Skizzierung von polygonalen Zonen um ausgewählte Abschnitte des vorher festgelegten Teils des CAD-Modells (100) und

- Codemittel zur Berechnung eines Mittelwertes für den ausgewählten Abschnitt basierend auf der Farbskala und den polygonalen Zonen

umfaßt.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

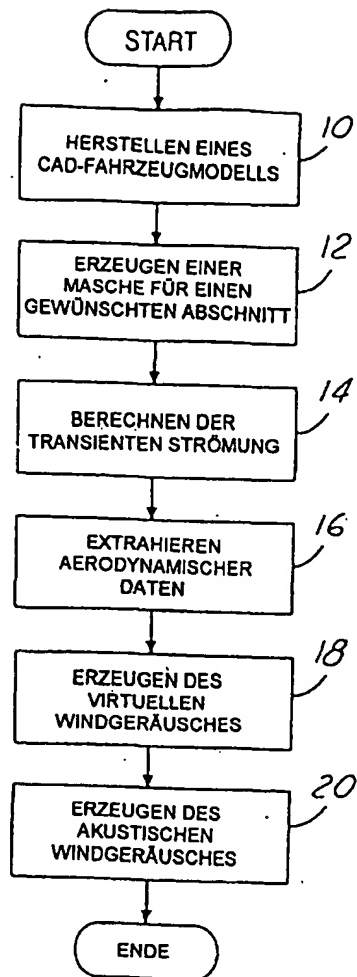


FIG. 1

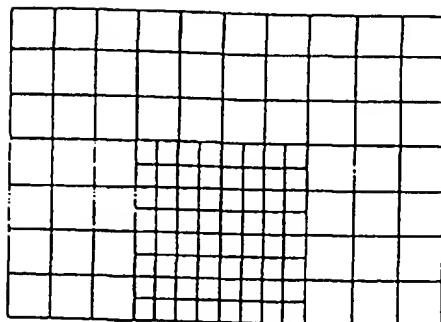


FIG. 5

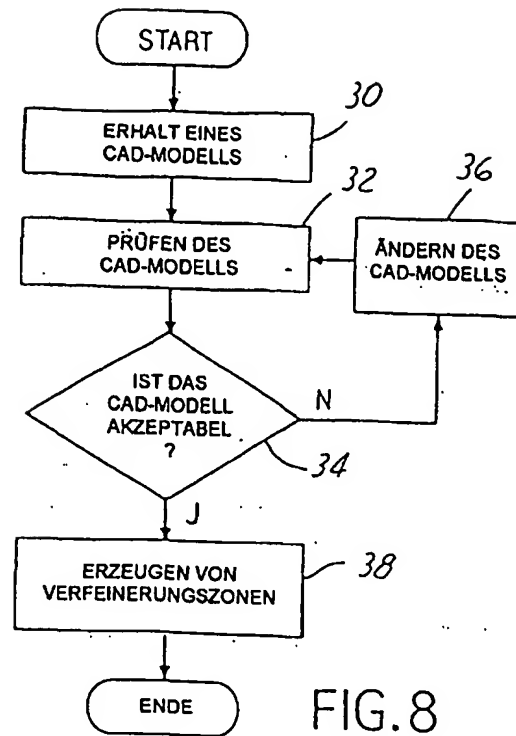


FIG. 8

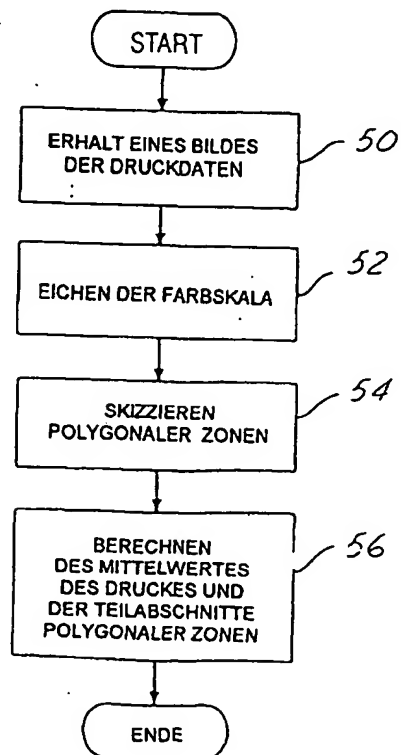


FIG. 13

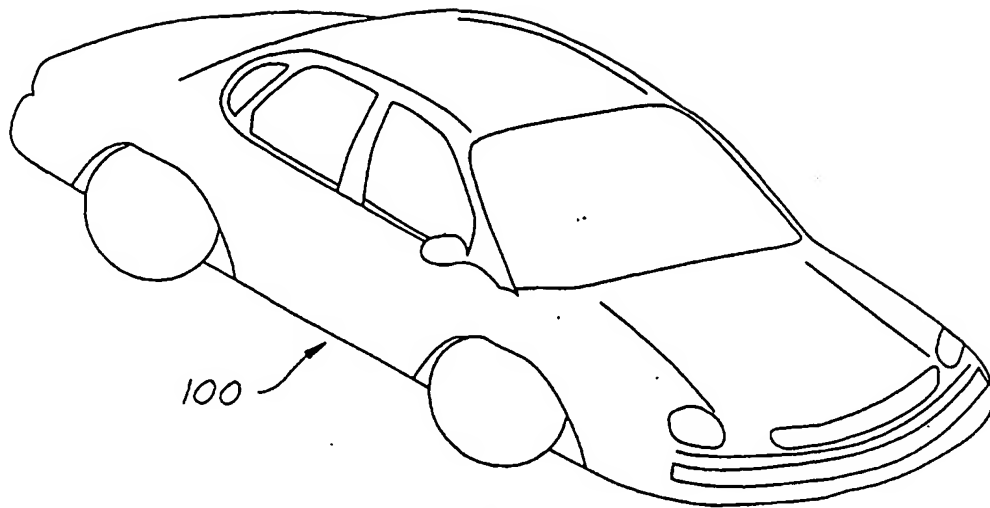


FIG. 2

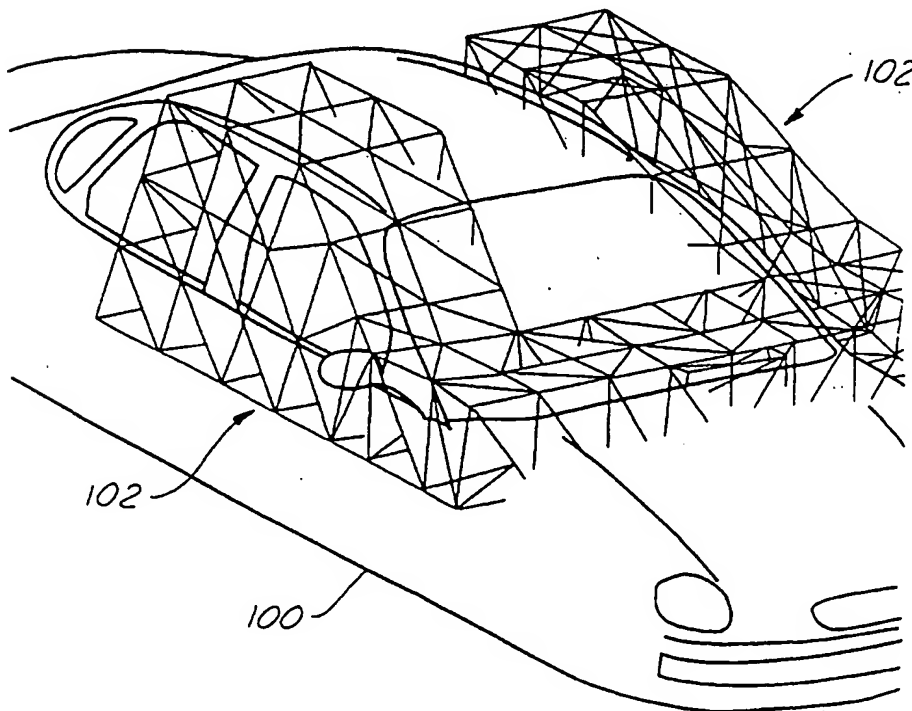
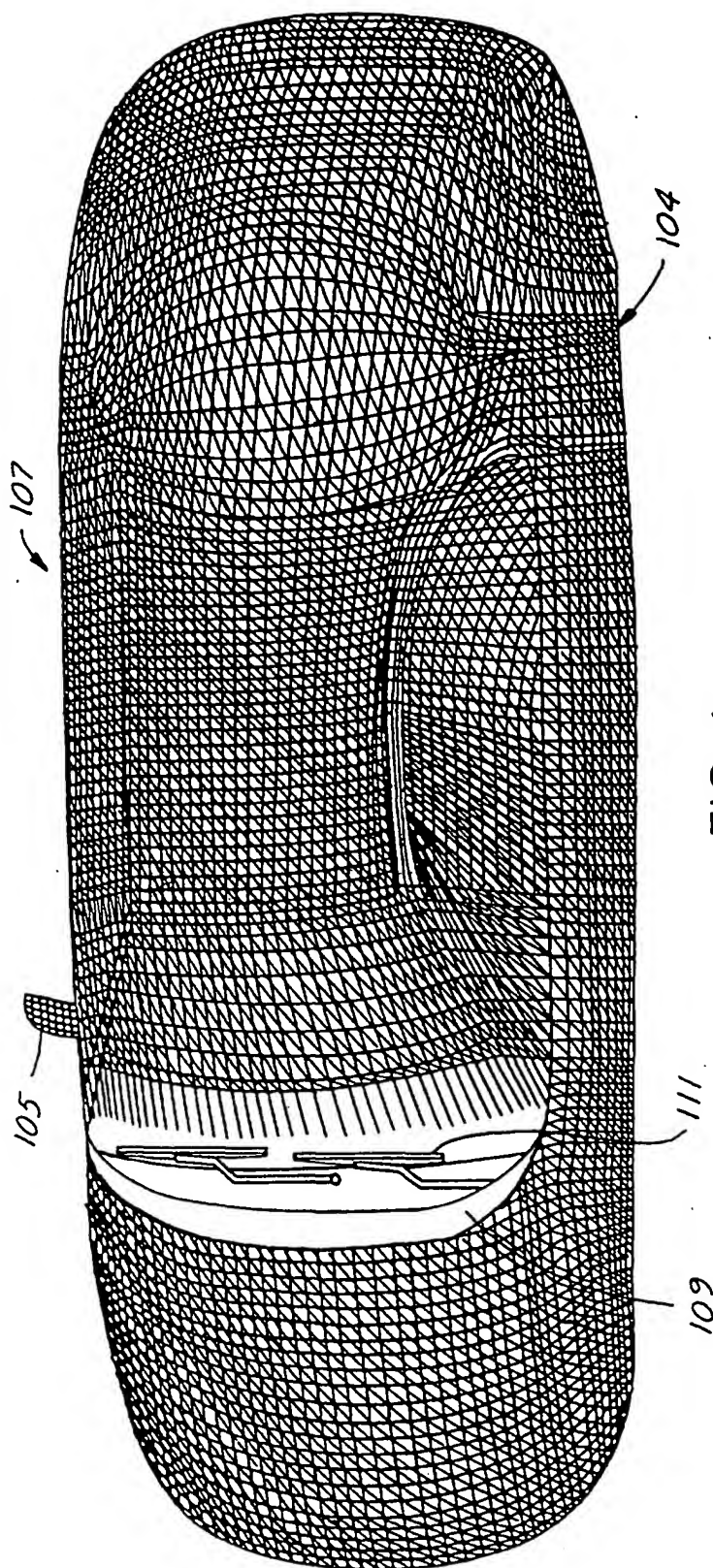
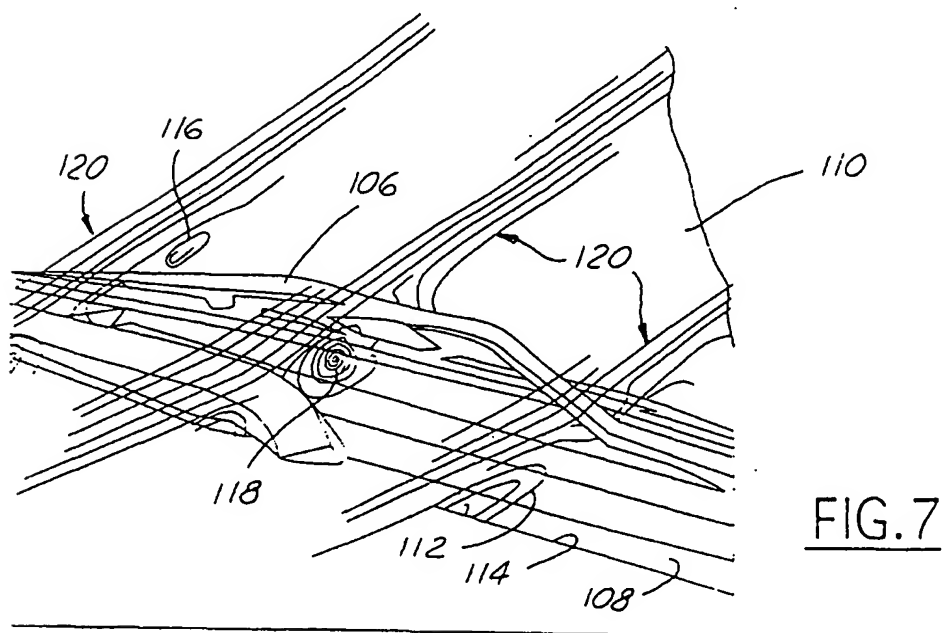
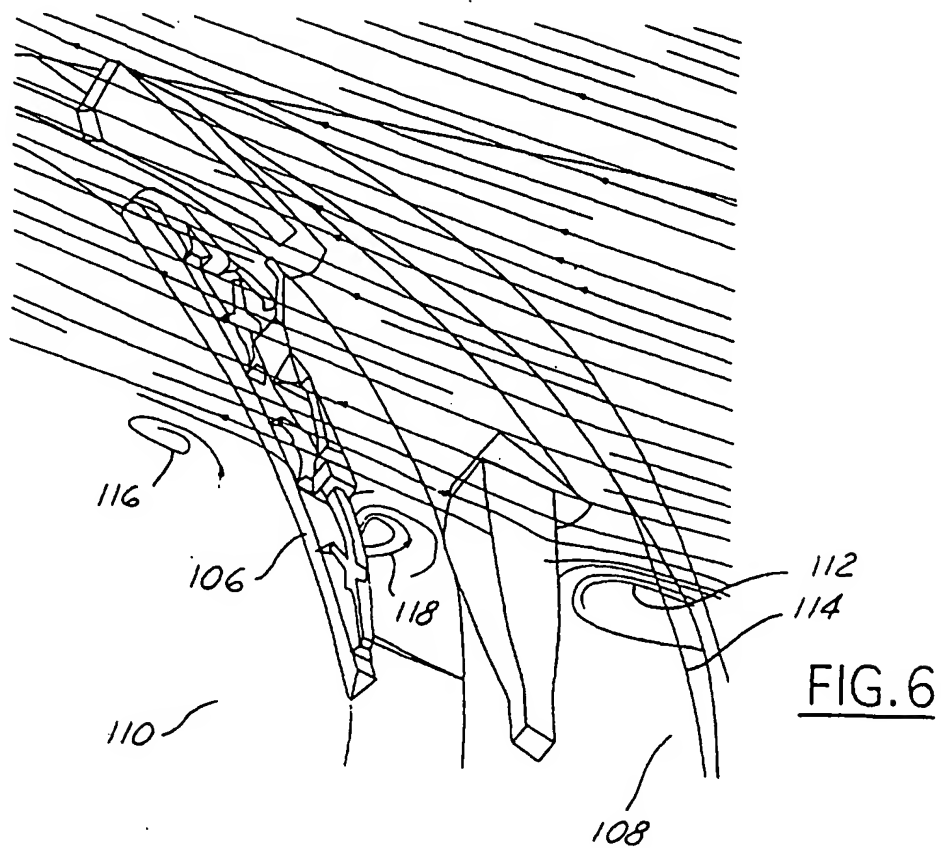


FIG. 3





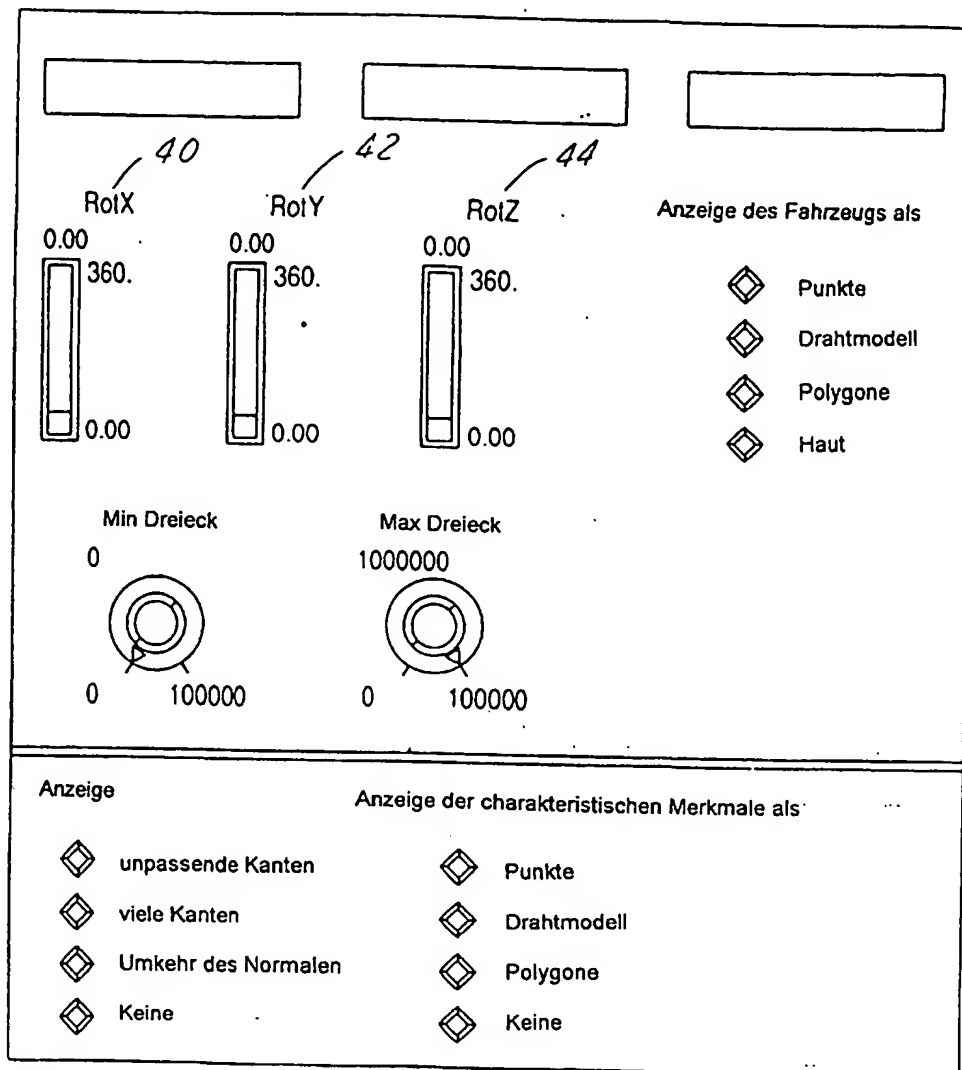


FIG. 9
















X Zentrum 0.000  -1.000e-1 1000e+C	Y Zentrum 0.000  -1.000e-1 1000e+C	Z Zentrum 0.000  -1.000e-1 1000e+C	
X Breite 0.000  -1.000e-1 1000e+C	Y Breite 0.000  -1.000e-1 1000e+C	Z Breite 0.000  -1.000e-1 1000e+C	
RotX 0.00 360.  0.00	RotY 0.00 360.  0.00	RotZ 0.00 360.  0.00	GEZEIGT ALS  Punkte  Drahtmodell  Polygone  Keine
Ausgleich zwischen VR und körperbezogenen Koordinatensystem ?  Nein  Ja			

FIG.10

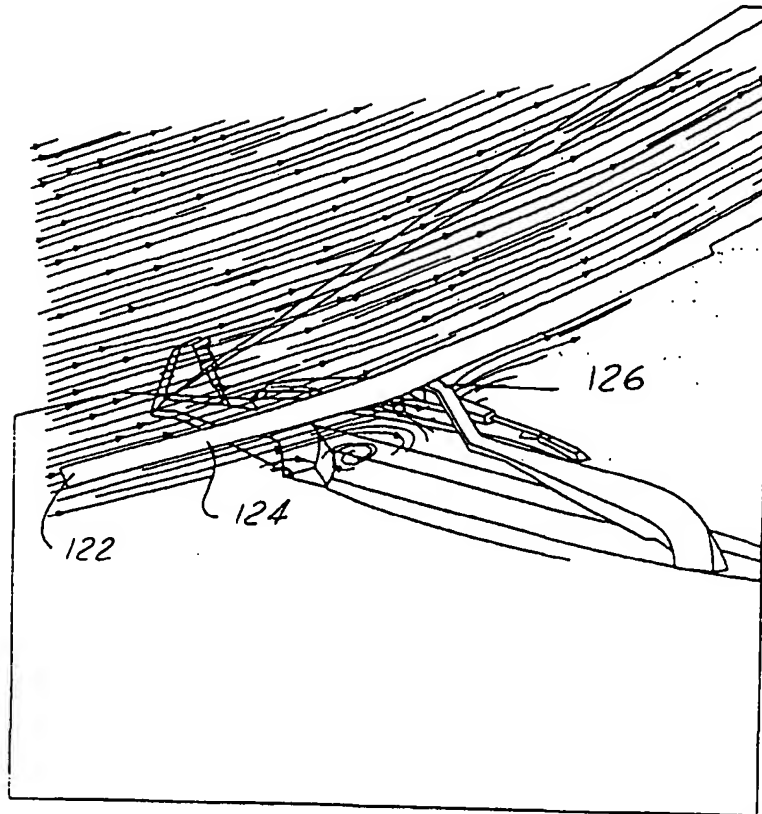


FIG. 11

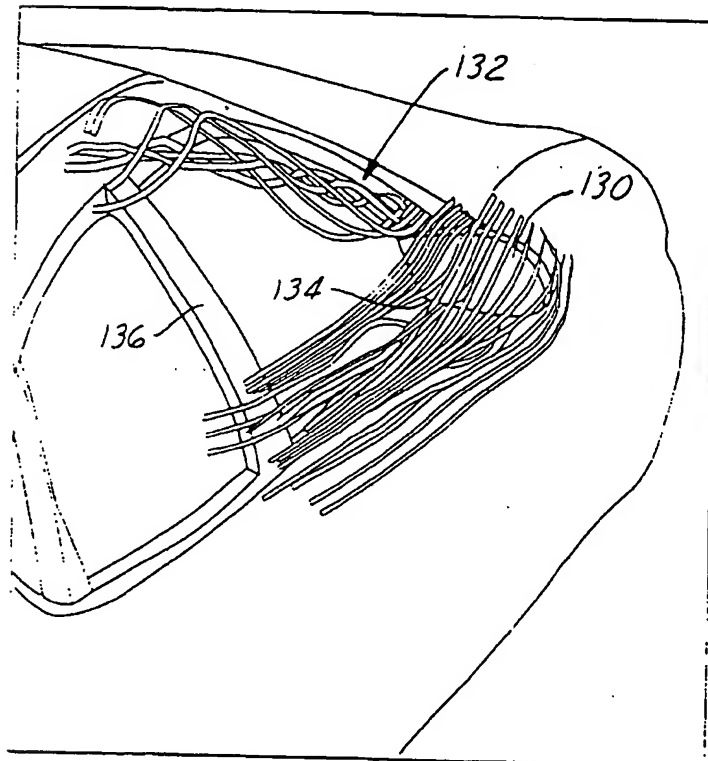
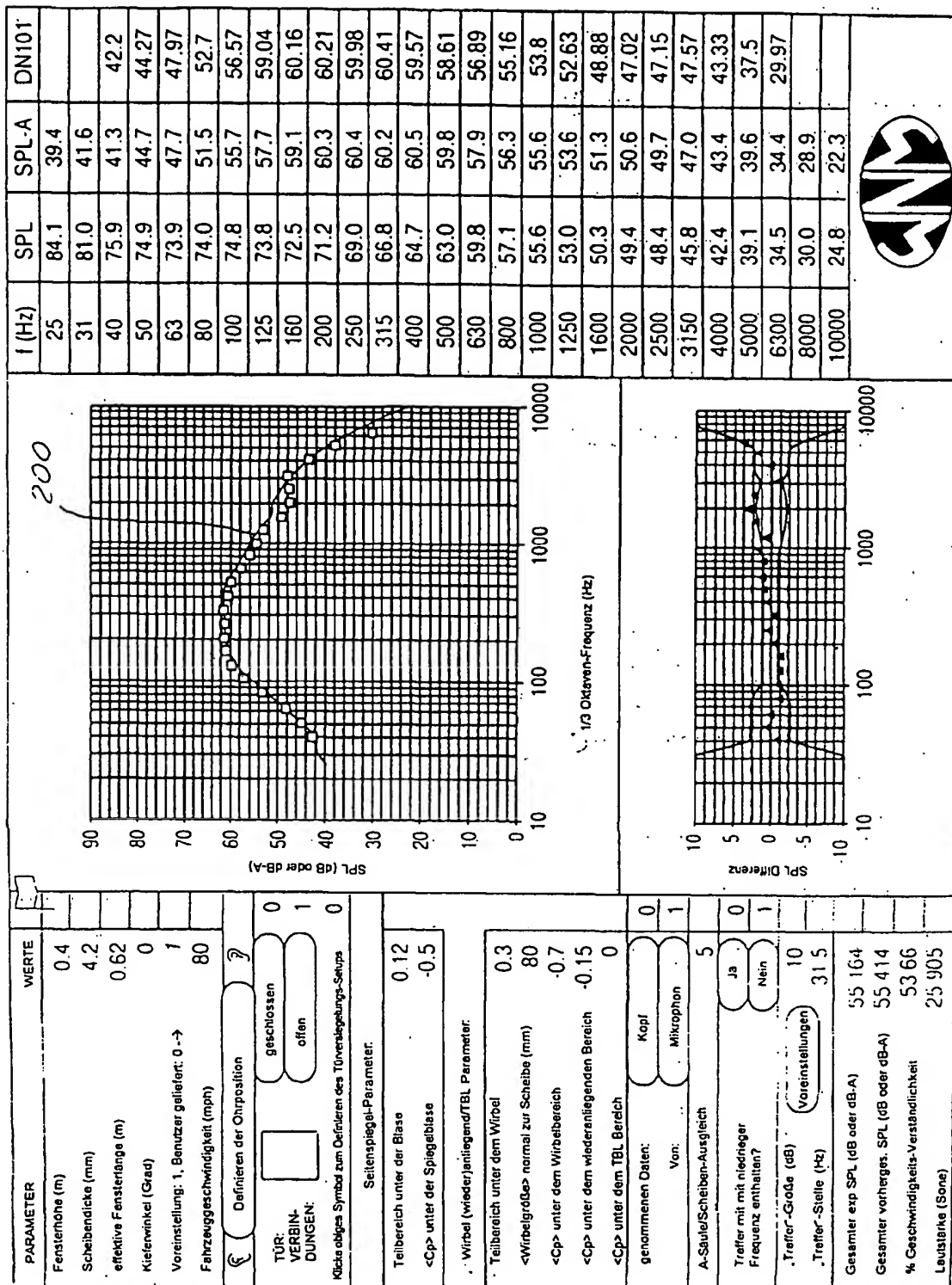


FIG. 12

FIG. 14



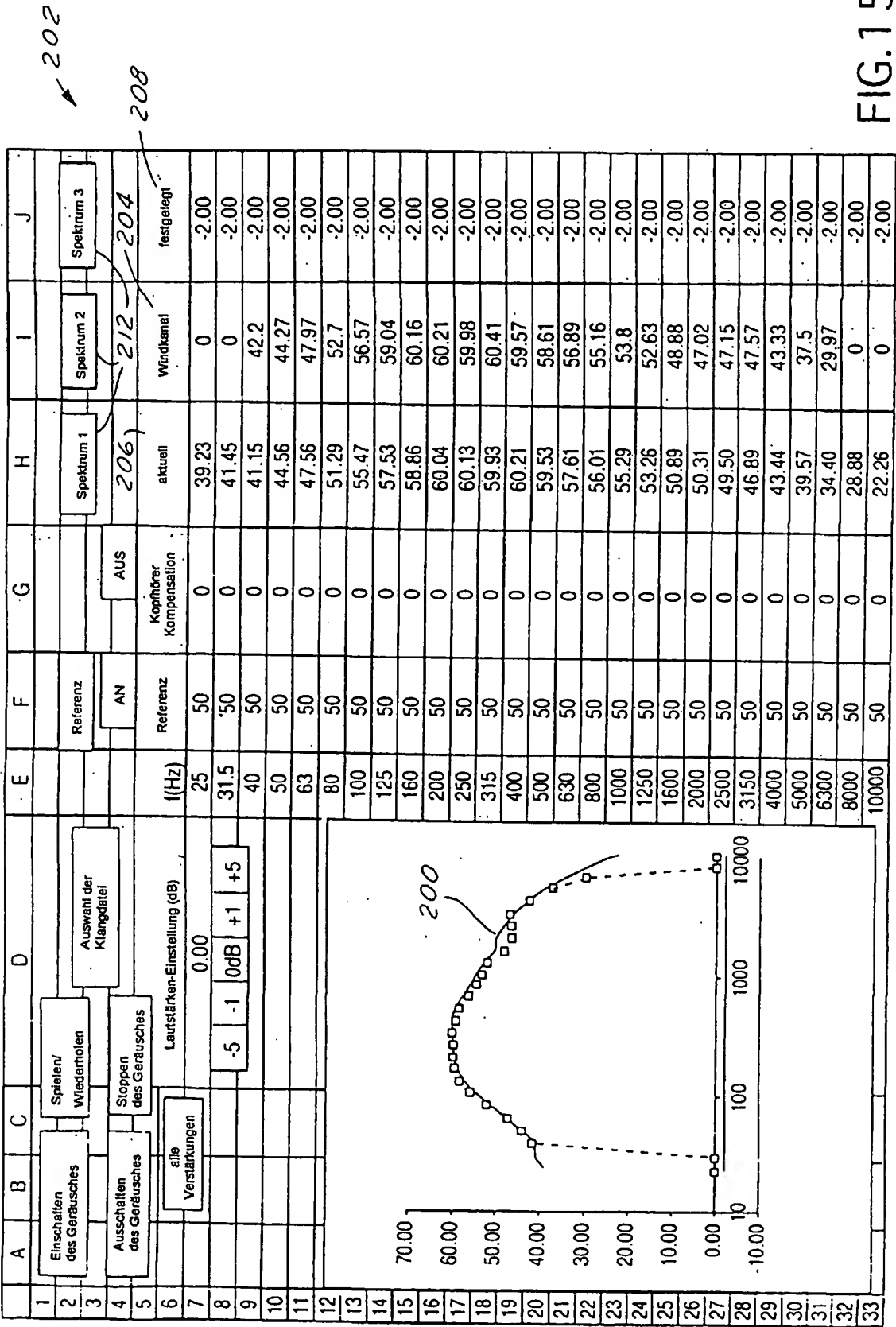


FIG.15

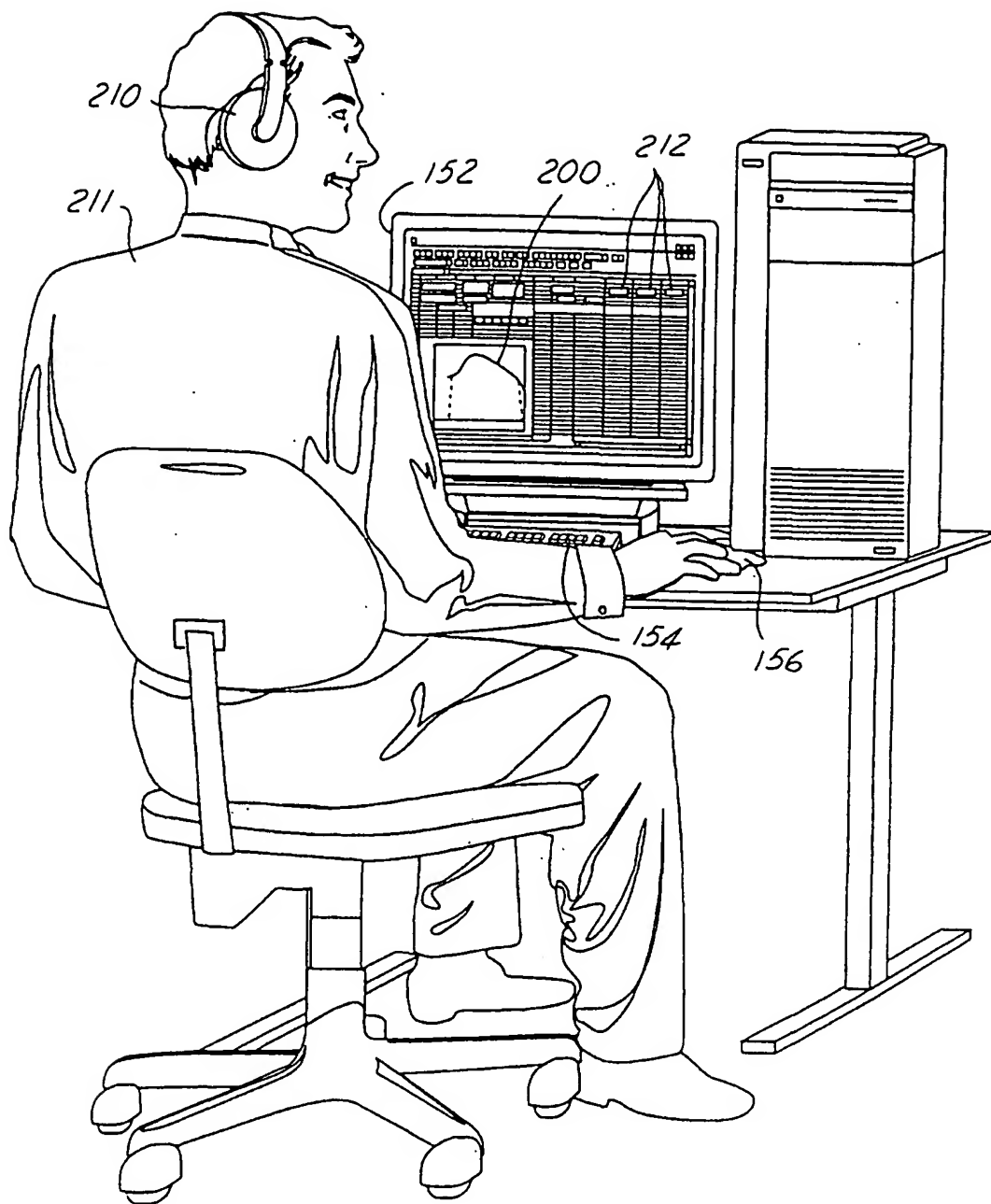


FIG. 16

Virtual wind noise generating method for automotive vehicle from computer aided design (CAD) model

Patent number: DE19919891
Publication date: 2000-03-09
Inventor: VISWANATHAN BABU (US); STRUMOLO GARY STEVEN (US)
Applicant: FORD GLOBAL TECH INC (US)
Classification:
- International: **G06F17/50; G06F17/50; (IPC1-7): G06F17/50**
- european: G06F17/50C2
Application number: DE19991019891 19990430
Priority number(s): US19980072347 19980504

Also published as:



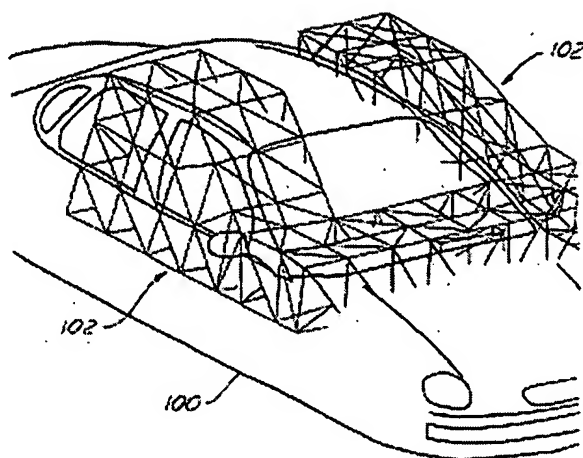
US6088521 (A1)

GB2340275 (A)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE19919891

The method comprises of creating a mesh (12) around a CAD model (10) of vehicle part, computing transient flow (14) and extracting a set of aerodynamic data (16) from predetermined area of the model from transient flow. Virtual representation of wind noise (18) is generated at predetermined location with respect to CAD model based upon aerodynamic data for producing acoustic representation (20) of virtual wind noise. An Independent claim includes a virtual wind tunnel system



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide